

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2020

Marcus Syrjänen

# LATAUSHYBRIDIEN PÄÄSTÖMÄÄRITTELY JA YMPÄRISTÖOMINAISUUDET

Marcus Syrjänen

# LATAUSHYBRIDIEN PÄÄSTÖMÄÄRITTELY JA YMPÄRISTÖOMINAISUUDET

Lataushybridiajoneuvo on automaailmassa käytetty termi, jossa ajoneuvossa on sekä polttomoottori että sähkömoottori ja auton akkua voidaan ladata ulkoisesta lähteestä. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää ja määrittää tietyt tekijät, joihin lataushybridien kulutus ja CO<sub>2</sub>-arvot perustuvat. Työ on tehty Turun ammattikorkeakoululle.

Tutkimuksessa käydään seikkaperäisesti läpi WLTP-mittaustavan prosessi lataushybridi ajoneuvojen kohdalla ja tarkastellaan polttomoottorin ja sähkömoottorin suhdetta mittaustuloksiin. Työssä käsitellään myös ajoneuvojen verotusta Suomessa ja vertaillaan eri käyttövoimien vuotuisia kustannuksia. Lisäksi tarkastellaan ovatko lataushybridit aidosti ympäristöystävällisiä.

Huoli ilmastomuutoksesta on lisännyt mielenkiintoa hybridi- ja täyssähköautoja kohtaan. Myös puhtaammat teknologiat ovat edesauttaneet hillitsemään päästöjen syntymistä. Liikenteessä syntyvät kasvihuonepäästöt ovat yksi merkittävimmistä ilmastomuutoksen kiihdyttäjistä EU:n alueella. Lataushybridit ovat yleistyneet lainsäädännön tiukentumisen myötävaikutuksesta. Nykyinen päästömittausmenettely WLTP on parantanut CO<sub>2</sub>-päästöjen läpinäkyvyyttä ja tulosten vertailua. Lataushybridi on ympäristöystävällinen vaihtoehto polttomoottoriautoille jos ajoneuvoa ladataan säännöllisesti ja ajotapa pidetään taloudellisena.

## ASIASANAT:

Lataushybridi, hiilidioksidi, päästömäärittely, autovero

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

2020 | 40 pages

Marcus Syrjänen

# EMISSION SPECIFICATION AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF PLUG-IN HYBRIDS

The plug-in hybrid vehicle is a concept of automotive industry with both an internal combustion engine (ICE) and an electric motor, and the vehicle battery can be charged from an external source. The aim of thesis was to determine specific factors on which plug-in hybrid consumption and CO<sub>2</sub>-values are based. The thesis was commissioned by Turku University of Applied Sciences.

The research discusses point-by-point the WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure) -testprocess aspects of plug-in hybrid vehicles and inspects the ratio of the test results between the internal combustion engine and electric motor. The thesis deals also with vehicle taxation in Finland and compares the annual costs of different powertrains. A further point of discussion is whether the plug-in hybrids are genuinely eco-friendly.

Anxiety about climate change has increased enthusiasm for hybrids and electric cars. Also cleaner technologies have promoted the reduction of emissions. Traffic greenhouse emissions are a significant climate change accelerator around the European Union. Plug-in hybrids have become more common due to tighter legislation. The current procedure WLTP has improved the transparency of CO<sub>2</sub>-emissions and the comparison of results. The plug-in hybrid is an eco-friendly choice for ICE-cars if the vehicle is charged regularly and the driving habits remain economical.

## KEYWORDS:

Plug-in hybrid, carbon dioxide, emission specification, car tax

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 LATAUSHYBRIDIEN HISTORIA JA KEHITYS</b>	<b>10</b>
2.1 Ladattavien hybridien historia	10
2.2 Lataushybridit Suomessa	11
<b>3 HENKILÖAUTOJEN PÄÄSTÖMENETTELYTAVAT JA NIIDEN EROT</b>	<b>15</b>
<b>4 LATAUSHYBRIDIEN WLTP-MITTAUKSEN LAINSÄÄDÄNTÖ</b>	<b>18</b>
<b>5 LATAUSHYBRIDIN KULUTUS JA PÄÄSTÖMENETTELY</b>	<b>20</b>
5.1 Lataushybridin eri ajotilat	21
5.2 Lataushybridin polttoaineen- ja sähkönkulutuksen määräytyminen (WLTP)	22
<b>6 HENKILÖAUTOJEN VEROTUS SUOMESSA</b>	<b>27</b>
6.1 Autoiluun kohdistuva verotus Suomessa	27
6.2 Toyota Prius kustannusten vertailu	29
<b>7 LATAUSHYBRIDIEN TODELLINEN YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYS</b>	<b>33</b>
<b>8 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>36</b>
<b>9 YHTEENVETO</b>	<b>37</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>39</b>

## KUVAT

Kuva 1. Lataushybridiajoneuvo (PHEV) (Electric and hybrid vehicles 2014.) .....	7
Kuva 2. Audi Q5 Plug-in hybrid (Audi AG. 2020).....	13

## KUVIOT

Kuvio 1. PHEV-ajoneuvot, varausta purkava (CD) tyyppi 1-testi (Euroopan komissio 2019.) .....	23
Kuvio 2. PHEV-ajoneuvot, varausta ylläpitävä (CS) tyyppi 1-testi (Euroopan komissio 2019.) .....	24
Kuvio 3. Kustannusten kehitys 10 vuotta .....	31

## TAULUKOT

Taulukko 1. Ensirekisteröinnit Suomessa 2015-2019 (Traficom 2020.) .....	12
Taulukko 2. Ensirekisteröity ladattavat hybridit tammikuu 2020 (Traficom 2020.) .....	13
Taulukko 3. NEDC ja WLTP eroavaisuudet (ACEA 2016a.) .....	16
Taulukko 4. Perusvero 2020 WLTP (Veronmaksajat 2020.) .....	28
Taulukko 5. Käyttövoimaveron 2020 (Traficom 2020.) .....	28
Taulukko 6. Kustannusten vertailu (Electric Vehicle Database 2020; Toyota Auto Finland Oy 2020.) .....	30
Taulukko 7. Vuosittaiset kustannukset 10 vuoden ajalta .....	31

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

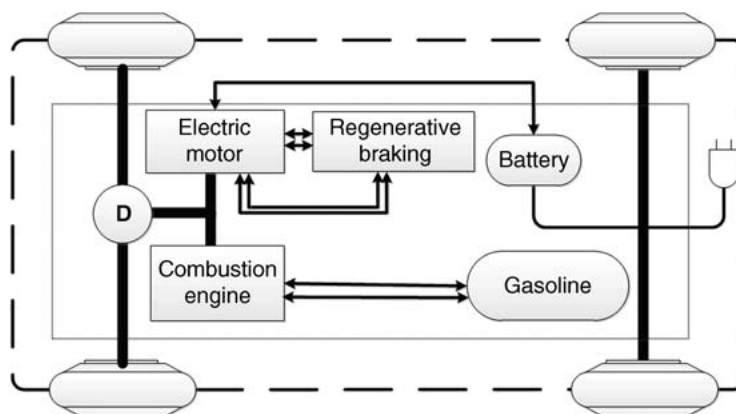
CD	Charge-depleting: varausta purkava eli ajo sähköllä
CS	Charge-sustaining: varausta ylläpitävä eli ajo polttoaineella
EV	Electric Vehicle: sähköajoneuvo
HEV	Hybrid Electric Vehicle: hybridaajoneuvo
ICE	Internal Combustion Engine: polttomoottori
NEDC	New European Driving Cycle: testisykli, WLTP:n edeltäjä
PEMS	Portable Emissions Measurement System
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle: ladattava hybridaajoneuvo
REESS	Rechargeable Energy Storage Systems: ladattava sähkö-energian varastointijärjestelmä
RDE	Real Driving Emissions: testimenettely aidoissa olosuhteissa
SOC	State of charge: varauksen tila
SUV	Sport Utility Vehicle: katumaasturi
UF	Utility Factor: käyttötekijä/käyttökerroin
UNECE	Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio
WLTP	Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedures

# 1 JOHDANTO

Lataushybridi (myös pistokehybridi, Plug-in hybrid) (PHEV) on automaailmassa käytetty termi, jossa ajoneuvossa on sekä polttomoottori että sähkömoottori ja auton akkua voidaan ladata ulkoisesta lähteestä. Tämän työn tarkoituksena on saada selville ja määritellä tietyt tekijät, joihin lataushybridien kulutus ja CO<sub>2</sub>-mittaukset perustuvat. Olennainen osa tutkimuksessa on käydä seikkaperäisesti läpi WLTP-mittaustavan prosessi lataushybridiautojen kohdalla ja tarkastella polttomoottorin ja sähkömoottorin suhdetta mittaus tuloksiin: Minkä perusteella saadaan juuri tietyt kulutus- ja päästölukemat? Lisäksi tarkastellaan ovatko lataushybridit oikeasti ympäristöystävällisiä.

Lataushybridi yhdistää hybridin parhaat puolet mahdollistamalla autolla liikkumisen tietyn aikaa ainoastaan sähköön avulla. Auton akustoa voidaan ladata suoraan sähköverkosta eikä ainoastaan auton sisäisellä latausjärjestelmällä tai regeroivalla jarrutuksella. Kuten tavallisen hybridiajoneuvon (HEV) kohdalla lataushybridin energia saadaan tuotettua polttomoottorilta (ICE) ja akustolta. Polttomoottori on lataushybridin ensisijainen energialähde johtuen pidemmästä kantamasta, mutta osa polttoaineesta voidaan korvata sähköllä. Kokonaiskantama on yleensä n. 500-600 km, josta sähköön osuus n. 50 km. (Electric and hybrid vehicles 2014.)

Lataushybridin voimansiirto voidaan rakentaa rinnakkain, sarjaan tai power-split rakenteella. Lataushybridi (kuva 1) ei ole yhtä riippuvainen polttoaineesta sähköllä ladattavan akuston vuoksi ja säilyttää siksi hyvän kantaman tavallisiin polttomoottoriajoneuvoihin verrattuna. (Electric and hybrid vehicles 2014.)



Kuva 1. Lataushybridiajoneuvo (PHEV) (Electric and hybrid vehicles 2014.)

Lataushybridin etuina täyssähköisiin ajoneuvoihin verrattuna on pienempi riippuvuus latausverkostosta ja tällöin myös polttoainekustannukset ovat pienemmät. Lataushybridi tarvitsee pienemmän akuston kuin täyssähköinen auto, mutta huomattavasti suuremman kuin tavallinen hybridi ajoneuvo. Lataushybridillä on myös kyky saada toistuvasti akun varaus purkautumaan mahdollisimman tyhjäksi (deep discharge). Perinteisissä hybrideissä varaus (State of Charge, SOC) ylläpidetään yleensä vakaassa minimilataustilassa ja tämän seurauksena se ei pysty käymään läpi akun täydellistä tyhjentämistä/latausta täyteen. Lataushybridin akusto on huomattavasti pienempi verrattuna täyssähköisiin ajoneuvoihin ja tämä taas asettaa vaatimuksia akuston kokoonpanolle ja sen eri asetuksille, jotta sähköenergia saadaan tuotettua kun ajoneuvo on joutokäynnillä ja silloin kuin tarvitaan voimaa liikkeelle lähdöissä. (Electric and hybrid vehicles 2014.)

Lataushybridi on päästötön, jos sitä käytetään sähköisessä ajotilassa. Lataushybridi tarvitsee tietysti sähköä liikkuaakseen, joten näiden tarvitsema sähköenergia akkuihin on tuotettava jotenkin. Sähköntuotannosta syntyy luonnollisesti päästöjä, joka täytyy ottaa huomioon auton hiilijalanjälkeä arvioidessa.

Lataushybridien sähköinen kantama on yleensä n. 20-80 kilometriä ja on riippuvainen akuston kapasiteetista. Lataushybridi ei ole kuitenkaan samalla tavalla riippuvainen latausinfrastrukturista kuin täyssähköinen ajoneuvo johtuen polttomoottorikäytön mahdollisuudesta. Lataushybridillä pystyy liikkumaan pelkästään polttomoottorin voimalla, mutta kulutus ja päästöt nousevat. Suurimmat ongelmat lataushybridien kohdalla liittyvät akustoon, joka lisää ajoneuvon kokonaismassaa ja siten heikentää taloudellisuutta ja kiihtyvyyttä. Akut ovat myös kalliita, mikä vaikuttaa paljon lataushybridin hankintahintaan. (Electric and hybrid vehicles 2014.)

Lataushybridin taloudellisuus perustuu jarrutusenergian talteenottoon ja sähkönkäyttöön avustavana energiana kiihdytyksissä sekä siihen, että polttomoottori voidaan sammuttaa auton rullatessa vapaalla. Jarrutusenergiaa ladataan generaattorin kautta akustolle, josta sähkömoottori hyödyntää varattua energiaa. Lataushybridin taloudellisuus korostuu ajettaessa pelkästään sähköisessä ajotilassa. (Autoalan tutkimuskeskus 2020a.)

Lataushybridi on mahdollista ladata kolmella eri tavalla: kotipistorasialla, peruslatauksella tai pikalatauksella. Lataushybridin akkujen lataaminen voidaan suorittaa sähköajoneuvokäyttöön suunnitelluissa latauspisteissä (ns. peruslataus). EU:n alueen julkisissa latauspisteissä standardina on käytetty 2017 lähtien Type 2 -pistoketta. Type 1 -pistokkeita käytetään japanilaisissa ja amerikkalaisissa sähköautoissa. (Motiva 2019.)



Latausasema on varustettu kiintellä latauskaapelilla tai se voi olla rasiamallinen, jolloin lataajalla täytyy olla oma kaapeli. Ajoneuvo voidaan kytkeä rasiamalliseen latausasemaan käyttäen erillistä latauskaapelia. Kotitalouspistorasia (schuko) soveltuu tilapäiseen lataukseen (hidaslataukseen), jossa latausvirta on auton latausjohdon ohjainyksiköllä rajoitettu pieneksi (6-10 ampeeria). Sähköteknisen alan kansallinen standardointijärjestö SESKOn suosituksen mukaan pitkäaikainen latausvirta saisi olla enintään 8 ampeeria. Latausaika tyhjästä täyteen on 2-7 tuntiin automallista riippuen. Pikalatauksella ladattavan hybridin akun saa ladattua lähes täyteen nopeasti, jopa puolessa tunnissa. Pikalatauspisteitä ovat yleensä julkisia latauspisteitä ja ne sijaitsevat yleensä huoltoasemien, kauppakeskusten ja pysäköintipaikkojen yhteydessä. Pikalataus on yleensä maksullista. (Motiva 2019.)

## 2 LATAUSHYBRIDIEN HISTORIA JA KEHITYS

Ladattavien hybridien (plug-in hybrid, myös PHEV) historia käsittää n. 120 vuotta, mutta suurimmat askeleet kehityksessä otettiin vuoden 2002 jälkeen. Kiinnostuksen elpyminen hybridi- ja täyssähköautoja kohtaan viimeisen 20 vuoden aikana on seurausta akku- ja sähkötekniikan kehityksestä sekä tarpeesta saada pienennettyä kasvihuonekaasupäästöjä ja myös kasvanneesta huolesta öljyn hinnan nousun ja tuotannon keskeytyksistä.

### 2.1 Ladattavien hybridien historia

Hybridiajoneuvojen tuotannon historia ulottuu niinkin kauas kuin vuoteen 1899, jolloin Lohner-Porsche kehitti ensimmäisen bensiinimoottoria ja sähkömoottoria yhdessä hyödyntävän ajoneuvon. Jo varhaisia hybridejä pystyttiin lataamaan ulkoisesta lähteestä ennen liikkeelle lähtöä. Termi ladattava hybridi on vakiintunut kuitenkin käytettäväksi hybridi ajoneuvosta, jota pysytään lataamaan tavallisesta seinäpistokkeesta. (Wikipedia 2020.)

Vuonna 1969 General Motors esitteli lataushybridi-konseptin XP-883, joka sisälsi kuusi 12 voltin lyijyakkua tavaratilassa ja poikittain asennetun tasavirtasähkömoottorin, joka siirtää voiman etuvetoiselle akselille. Bensiinimoottori on yhdistettynä voimansiirtoon kierukkavaihteen avulla. Autoa pystyttiin lataamaan tavallisesta amerikkalaisesta 110 V vaihtovirtapistoriasta. (Wikipedia 2020.)

Vuonna 1971 Tri Andrew Frank aloitti tutkimustyön hybridien parissa ja häntä voidaan kutsua modernin hybriditeknologian uranuurtajaksi. Hän myös kehitti nykyään käytetyn termin PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle). (Wikipedia 2020.)

Vuonna 1975 Popular Science -lehti esitteli artikkelissaan kokeellisen ”turbo-sähkö” hybridin, jonka oli kehitellyt sähköinsinööri Harry Grepke. Ajoneuvossa oli kahdeksan 12 voltin akkua ja turbiini sähkögeneraattori. Sähköinen kantama ajoneuvolle oli 50 mailia (80 km). (Wikipedia 2020.)

Vuonna 1989 Audi esitteli Audi Duon, ladattavan rinnakkaishybridin, joka perustuu Audi 100 Avant Quattroon. Auto sisältää 9.4 kW Siemensin sähkömoottorin ja tavaratilaan sijoitetun nikkeli-kadmiumakuston, jotka tuottavat voiman takapyörille. Auton etuakseli

saa voimansa 2.3 litran 5-sylinterisestä moottorista, josta saadaan tehoa 101 kW. Tarkoituksena oli kehittää ajoneuvo, joka käytti polttomoottoria maanteillä ja sähkömoottoria kaupunkiolosuhteissa. (Wikipedia 2020.)

Hybriditeknologian läpimurto autoteollisuudessa tapahtui 1990-luvun lopulla kun Toyota lanseerasi Priuksen, ensimmäisen massatuotetun hybridiajoneuvon vuonna 1997. Honda esitteli vuonna 1999 Insightin Japanin ja Yhdysvaltojen markkinoille.

Vuonna 2003 Renault julkaisi Elect'rodin, pistokehybridiversion Renault Kangoosta. Lataus pystytään suorittamaan 4 tunnissa vakiopistorasiasta.

Vuonna 2007 Ford julkaisi Escapesta Plug-in hybridin konseptin, jossa toisena voimälähteenä käytettiin flex-fuel-tyyppistä polttomoottoria.

Vuonna 2010 General Motors julkaisi Chevrolet Voltin Yhdysvalloissa.

Toyota julkaisi ensimmäisen sukupolven Priuksen Plug-in hybridin vuonna 2012 Japanissa ja myöhemmin muualla maailmassa.

Honda julkaisi vuonna 2013 pistokehybridin Yhdysvaltojen markkinoille ja Mitsubishi Outlanderin, ensimmäisen sarjatuotanto SUV lataushybridin.

## 2.2 Lataushybridit Suomessa

Autonvalmistajilta on tullut Suomen markkinoille viimeisen parin vuoden aikana lukuisa määrä plug-in hybrid versioita suosituimmista automalleista. Kun tarkastellaan ensirekisteröityjen (taulukko 1) henkilöautojen myyntiä käyttövoimittain, lataushybridien myynti Suomessa on moninkertaistunut viimeisen viiden vuoden aikana. Lataushybridejä ensirekisteröitiin 5966 kappaletta vuonna 2019. Ladattavien hybridien ensirekisteröinnit ovat painottuneet bensiiniversioihin, sillä suurimmista merkeistä vain Mercedes-Benzillä on valikoimassaan lataushybridi-dieseleitä.

Taulukko 1. Ensirekisteröinnit Suomessa 2015-2019 (Traficom 2020.)

Vuosi / Year	2015	2016	2017	2018	2019
Bensiini / Gasoline	66248	73251	70520	73065	67751
Diesel / Diesel	38797	39451	36060	28710	20871
Sähkö / BEV	243	223	502	776	1897
CNG / CNG	158	165	433	1161	2142
PHEV bensiini / PHEV Gasoline	400	1115	2401	4797	5807
PHEV diesel / PHEV Diesel	15	93	152	135	159
Ei-ladattava hybridi, bensiini / HEV Gasoline	2817	4668	8512	11631	14582
Ei-ladattava hybridi, diesel / HEV Diesel	29	11	2	224	990
Etanoli / Ethanol	105	14	1	0	0

Rekisteröintien nousun taustalla on valikoiman voimakas laajentuminen lataushybridien osalta. Suuntaus on seurausta autonvalmistajien pyrkimyksestä vastata tiukentuneeseen lainsäädäntöön päästömääräysten osalta, josta mainitaan tarkemmin luvussa 4. Myös latausverkoston laajentuminen ja kuluttajien mielenkiinnon nousu vähäpäästöisempiä ajoneuvoja kohtaan on vaikuttanut. Varmasti yksi syy on ollut myös Suomen kevyempi autovero lataushybridien osalta, sillä vero määräytyy suurimmalta osin CO<sub>2</sub>-arvojen mukaan.

Lataushybridien myynti on noussut tasaisesti kaikissa ajoneuvosegmenteissä. Myynti on painottunut kuitenkin suuriin henkilöautoihin. Nykyään myydään paljon katumaasturi-luokan (SUV) henkilöautoja (kuva 2).



Kuva 2. Audi Q5 Plug-in hybrid (Audi AG. 2020)

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom tilastoi kaikki Suomessa ensirekisteröidyt ajoneuvot kuukausittain. Tilastoihin merkitään myös ulkomailta maahantuodut ajoneuvot, jotka rekisteröidään Suomeen. Taulukossa 2 on tilastoitu uusien autojen Suomen top 10 ensirekisteröidyistä ladattavista hybrideistä.

Taulukko 2. Ensirekisteröidyt ladattavat hybridit tammikuu 2020 (Traficom 2020.)

Ladattavat hybridit	
Merkki ja malli	kpl
VOLVO XC60	216
VOLVO V60	104
SKODA SUPERB	95
VOLKSWAGEN PASSAT	84
BMW X5	80
BMW 5-sarja	77
MITSUBISHI OUTLANDER	65
AUDI Q5	58
BMW 3-sarja	58
MERCEDES-BENZ C-sarja	54

Vaikka lataushybridien myynti on nousussa, niiden osuus kokonaismyynnistä jää yhä prosentuaalisesti pieneksi. Yhtenä esteenä yleistymiselle on hankintahinta, sillä lataushybridien ajoneuvosegmentit painottuvat suuriin autoihin. Toisaalta lataushybridin käyttökustannukset jäävät polttomoottoriversiota pienemmiksi, jos autoa pystytään lataamaan tiheästi. Yleensä lataaminen tulee kotona edullisemmaksi kuin julkisilla latauspisteillä.

### 3 HENKILÖAUTOJEN PÄÄSTÖMENETTELYTAVAT JA NIIDEN EROT

Autojen tyyppihyväksyntään liittyvät pakokaasupäästöjen ja polttoaineenkulutuksen mitaukset suoritetaan laboratorio-olosuhteissa tarkoin määritellyin ajovastuksin. 1980-luvulla kehitelty vanha NEDC-mittaustapa (New European Driving Cycle) perustuu teoreettiseen ajosykliin. NEDC-mittauksen tavoitteena on mitata säänneltyjen pakokaasupäästöjen kuten NO<sub>x</sub> -päästöjen määrää laboratorio-olosuhteissa. NEDC-sykliin lisättiin hiilidioksidipäästöjen mittaaminen ja dokumentaatio 2000-luvulla, mutta teknologian, ajo-olosuhteiden ja uusien käyttövoimien kehittymisen myötä se alkoi olla vanhentunut mittaustapa eikä enää vastannut nykyvaatimuksia. (ACEA 2017a.)

Eurooppalaisten kevyiden henkilöautojen ja pakettiautojen päästömittauksissa otettiin käyttöön 2017 lähtien nykyinen WLTP-mittaustapa (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure). Uuden testitavan kehityksestä on vastannut Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio (UNECE). WLTP:n yhtenä päätavoitteena on ollut saada laboratoriomittaukset vastaamaan paremmin todellisia liikenteen ajo-olosuhteita.

Viimeisin päivitetty versio testistä on julkaistu 2015. Sen mittauksissa käytetään todellisia ajosyklejä ja kerättyä materiaalia ajosuoritteista ja näin ollen se kuvaa paremmin jokapäiväisiä ajotilanteita. Mittaus suoritetaan laboratoriossa alustadynamometrillä kuten aikaisemmassa NEDC-mittaustavassa, mutta mittausolosuhteet ovat tarkemmin säänneltyjä. Laboratoriotestissä ei käytetä ilmastointilaitetta tai sähköä kuluttavia lisälaitteita. (Autoalan tiedotuskeskus 2020b.)

WLTP-mittaustavan yksi merkittävä muutos on auton lisävarusteiden huomioon ottaminen päästöjen mittauksessa, jos ne vaikuttavat ilmanvastukseen, massaun tai vierintävastukseen. Aikaisempi NEDC ei ottanut huomioon lisävarusteita lainkaan. (Autoalan tiedotuskeskus 2020b.)

WLTP-arvot eivät käytännössä muuta auton polttoainetaloudellisuutta, mutta automallin kilometrikohtaiset hiilidioksidipäästöt voivat nousta. WLTP-testi on kuormittavampi ja pitkäkestoisempi antaen todennäköisemmän tuloksen kuin NEDC. (Traficom 2020a.)

WLTP-ajosykliä jaetaan neljään eri osaan keskinopeuden muutuessa: matala, keskitaso, korkea, erittäin korkea. Jokainen osio koostuu valikoimasta eri ajovaiheita, pysähdyksiä,

kiihdytyksiä sekä jarrutustilanteista. Jokaisen automallin voimalinjojen eri versioista testataan ajoneuvon mallisarjan taloudellisin ja vähiten taloudellisin versio.

WLTP:n testitavoissa on huomattavia eroavaisuuksia (taulukko 3) vanhaan NEDC:n verrattuna. WLTP on kehitetty pyrkimyksenä saada yleismaailmallinen mittaustapa, jossa CO<sub>2</sub>-päästöjä ja polttoaineen kulututusta pystytään helposti vertailemaan maailmanlaajuisesti. Vaikka WLTP:n on ajateltu universaaliksi niin käytännössä Euroopan Unioni ja muut alueet soveltavat testiä oman liikennelainsäädännön ja tarpeiden mukaan. (ACEA 2017a.)

Taulukko 3. NEDC ja WLTP eroavaisuudet (ACEA 2016a.)

Keskeisimmät eroavaisuudet	NEDC	WLTP
Testisykli	Yksittäinen testisykli	Dynaaminen, todellista ajoa muistuttava testisykli
Aika	20 min	30 min
Matka	11 km	23,25 km
Ajovaiheet	Kaksi ajovaihetta: 66 % kaupunki, 34 % maantie	Neljä dynaamista ajovaihetta: 52 % kaupunki, 48 % maantie
Keskinopeus	34 km/h	46 km/h
Maksiminopeus	120 km/h	131 km/h
Valinnaisten varusteiden vaikutus	Ei huomioida	Ajovastukseen, massaun ja vierintävastukseen vaikuttavat lisävarusteet huomioidaan
Vaihteiden vaihto	Kiinteät vaihteiden vaihtohetket	Ajoneuvolla yksilölliset vaihteiden vaihtohetket
Lämpötila	20-30 °C	Mittaukset 23 °C, CO <sub>2</sub> korjataan vastaamaan 14 °C

WLTP-mittausta voidaan soveltaa kaikkiin eri ajoneuvon käyttövoimiin. Ladattavien hybridien mittaus suoritetaan polttomootoriautoista poiketen useana eri mittauskertana ajo-voima-akun erilaisilla varausasteilla ja tulokset lasketaan eri mittauskertojen tuloksia painottamalla. Jokaisella mittauskierroksella polttomootorin osuutta ajosykliä kasvate-



taan ja viimeinen mittauskierros ajetaan niin, että ajovoima-akku on lähtötilanteessa kokonaan tyhjä. Pelkällä sähköllä ajettava osuus mittauksessa määrittelee sen kuinka suuri osuus koko mittauksessa määritellään nollapäästöisenä ajettavaksi. (Autoalan tiedotuskeskus 2020b.)

Real Driving Emissions (RDE) eli todellisten ajonaikaisten päästöjen-mittaus on otettu käyttöön EU:ssa 2017 täydentämään WLTP-mittausta. RDE-testissä mitataan alkuvaiheessa vain typen oksidien ( $\text{NO}_x$ -päästöt) ja pienhiukkasten määrää. RDE-testi suoritetaan käytännön olosuhteissa julkisilla teillä sisältäen useita eri ajotilanteita ja olosuhteita. Ajoneuvoihin asennetaan erityinen mittauslaite (Portable Emissions Measuring System, PEMS), joka mittaa ja kerää tietoa ajon aikaisista päästöistä ja kulutuksesta. (ACEA 2016b.)

RDE-testin tarkoituksena on antaa todenmukainen tieto ajonaikaisista päästöistä ja varmistaa, että ajoneuvo on vähäpäästöinen myös muualla kuin laboratorio-olosuhteissa. RDE-testin olosuhteina toimivat mm. matalat ja korkeat ilmanalat, ympärivuotiset lämpötilat, ajoneuvon muuttuva kuormaus, ylä- ja alamäkiajo, kaupunkitiet (matala nopeus) ja moottoritiet (korkea nopeus). (ACEA 2016b.)

RDE-testiä on alettu soveltaa kaikkiin uusiin ensirekisteröitäviin henkilö- ja pakettiautoihin 1.9.2019 alkaen. RDE-testiä ei voida toistaa samalla tavalla kuin laboratoriotestejä. RDE-testiä toistetaan samalla ajoneuvolla useita kertoja. Tulokset muuttuvat joka kerta, sillä eri muuttujat kuten sääolosuhteet ja pysähdysten määrä vaikuttavat mittauksiin. Auton tyyppihyväksyntätodistukseen ei kirjata RDE-testin tuloksia tarkoin mitta-arvoin, vaan tulos on joko hyväksytty tai hylätty. RDE-testin raja-arvoina käytetään Euro 6-raja-arvoja, mutta tuloksiin sovelletaan korjauskertoimia. Vuodesta 2020 lähtien RDE-testin typenoksidipäästöt saavat ylittää Euro 6-raja-arvot korjauskertoimella 1,43 (Conformity Factor, CF FINAL) ja pienhiukkaspäästöt kertoimella 1,5. (ACEA 2016b.)

## 4 LATAUSHYBRIDIEN WLTP-MITTAUKSEN LAINSÄÄDÄNTÖ

EU-lainsäädännön määrittelemien olosuhteiden mukaan WLTP-laboratoriotestiä käytetään mittaamaan henkilöautojen polttoaineen kulutusta, CO<sub>2</sub> -päästöjä ja lisäksi myös muita pakokaasukomponentteja. Auton polttoaineenkulutukseen vaikuttavat auton tekniset ominaisuudet, sääolosuhteet, ajotavat ja myös auton kuormitus. Virallisissa EU-direktiivin mukaisissa päästö- ja kulutustesteissä nämä tekijät on vakioitu. EU-direktiivi velvoittaa autonvalmistajan ilmoittamaan laboratoriomittauksen mukaiset kulutusarvot auton virallisissa tiedoissa. Niistä pitää ilmetä polttoaineen sekä kulutus että päästöt. Kaikkien uusien EU:ssa rekisteröityjen kevyiden ajoneuvojen on täytynyt soveltaa 1. syyskuuta 2019 lähtien täysmääräisesti WLTP-standardeja ja EU-lainsäädäntöä. Se tarkoittaa sitä, että vanhan NEDC-mittaustavan mukaisia ajoneuvoja ei voi enää rekisteröidä.

Henkilöautot ovat vastuussa noin 12 prosentista kaikista Euroopan unionin alueella syntyvistä CO<sub>2</sub> -päästöistä, joka on olennaisin kasvihuonekaasu. Huhtikuun 17. päivä 2019 Euroopan parlamentti ja neuvosto hyväksyivät asetuksen (EU) 2019/631, joka tuo julki CO<sub>2</sub> -päästöjen suorituskykystandardit ja -vaatimukset uusille henkilö- ja pakettiautoille vuosille 2025 ja 2030. Uusi asetus astui voimaan 1. tammikuuta 2020 ja se korvaa ja kumoaa aiemman asetuksen (EC) 443/2009. (Euroopan komissio 2020a.)

Asetus otetaan täysmääräisesti käyttöön vuonna 2021, mutta sitä aletaan soveltaa jo vuoden 2020 alusta lähtien. EU:n uusille henkilöautoille asetettu keskimääräinen tavoite on 95 g CO<sub>2</sub>/km. Tämä vastaa polttoaineenkulutuksessa noin 4,1 l/100 km bensiinillä ja noin 3,6 l/100 km dieselillä. (Euroopan komissio 2020b.)

Sitovat päästötavoitteet autonvalmistajille on asetettu ajoneuvojen keskimääräisen painon mukaan, käyttäen rajoitettua arvokäyrää. Tämä tarkoittaa sitä, että painavampien ajoneuvojen valmistajille sallitaan korkeammat päästöt kuin kevyempien ajoneuvojen valmistajille. Käyrä on asetettu raskaampien ajoneuvojen kohdalla sallivammaksi, jotta päästötavoitteet olisi mahdollista saavuttaa keskimääräistä painavammillakin ajoneuvoilla. (Euroopan komissio 2020b.)

Vuonna 2020 autonvalmistajien vuodessa myymistä autoista otetaan 95 prosenttia mukaan valmistajakohtaiseen päästöjen keskiarvolaskentaan. Lopuille 5 prosentille ei ole

asetettu lainkaan päästörajoitteita. Vuodesta 2021 eteenpäin keskimääräiset päästöt autonvalmistajien kaikille (100 %) uusille rekisteröidyille ajoneuvoille pitää olla tavoitteen alapuolella.

Jos autonvalmistajan keskimääräiset CO<sub>2</sub>-päästöt ylittävät tavoitteet asetettuun määrä-aikaan mennessä, autonvalmistajan täytyy maksaa päästöjen ylittävästä määrästä sakkoja, jokaisesta rekisteröidystä ajoneuvosta. Vuodesta 2019 lähtien sakko on 95 euroa jokaisesta g/km ylityksestä. (Euroopan komissio 2020b.)

Esimerkiksi jos tarkasteluun otetaan Volkswagen Groupin kaikki Euroopassa myydyt autot vuonna 2019 (4 552 800) ja keskimääräiset CO<sub>2</sub>-päästöt 95 prosentin osuudesta olisivat 100 g/km, niin absoluuttinen kokonaissakkosumma olisi valtava, n. 2,16 miljardia euroa. (Volkswagen Group 2020.)

## 5 LATAUSHYBRIDIN KULUTUS JA PÄÄSTÖMENETTELY

Kun tarkastellaan lataushybridin (PHEV) kulutusta ja päästöjä niin WLTP-syklissä, on määritelty tarkkaan, miten polttomoottorin ja sähkömoottorin suhdetta mittauksessa verrataan. WLTP-testi suoritetaan tällaisella ajoneuvolla useamman kerran. Testi aloitetaan täyteen ladatulla akustolla ja se toistetaan niin monta kertaa kunnes akku on tyhjä. Polttomoottori on käynnissä jokaisella testisyklillä edellistä pidempään. Päästöt mitataan jokaiselta testisykliltä. Viimeisenä testisykli ajetaan läpi tyhjällä akulla ja käytössä on ainoastaan polttomoottori ja regeneroiva jarrutus. Tällaisessa monivaiheisessa mittauksessa ei mitata ainoastaan polttoaineen kulutusta ja CO<sub>2</sub>-päästöjä tarkasti vaan myös sähköistä kantamaa ja auton kokonaiskantamaa.

Käyttökierä/käyttökertoimella (utility factor, UF) tarkoitetaan suhteita, jotka perustuvat testituloksiin akuston varausta purkavassa toimintatilassa (Charge-depleting, CD) saatutun toimintasäteen mukaan. Niillä painotetaan ulkopuolelta ladattavien sähköhybridiajoneuvojen varausta purkavassa ja varausta ylläpitävässä toimintatilassa (Charge-sustaining, CS) syntyvät yhdisteiden pakokaasupäästöt, hiilidioksidipäästöt ja polttoaineenkulutus. Ajo-tilastoihin perustuvan UF-käyrän määrittämiseen suositeltava menetelmä kuvataan standardissa SAE J2841. (Euroopan komissio 2019.)

Purkavassa ajo-tilassa (CD) ja ylläpitävässä (CS) ajo-tilassa ajamisen osuuden laskemiseen voidaan käyttää kertoimena käyttökierä. Sähköautojen osalta käyttökierä toteutuu 100 prosenttisesti. Perinteisissä polttomoottoreissa käyttökierä on 0 prosenttia. Lataushybridiajoneuvoissa käyttökieräarvo on 0 ja 1 välillä. Käyttökierä voidaan määritellä suhteena ajettuun matkaan pelkällä sähköllä purkavassa toimintatilassa jaettuna kokonaismatkalla. Polttoaineen -ja energiankulutus kuin myös päästöt ovat hyvin erilaisia ajo-tilojen välillä ja tämän vuoksi tarvitaan käyttökierä, jotta saadaan laskettua painotetut päästöt, sähköenergian kulutus, polttoaineen kulutus ja CO<sub>2</sub>-arvot. Käyttökierän arvo ja käyrä saadaan muodostettua CD:n ja CS:n arvojen suhteesta ja on riippuvainen ajettusta matkasta purkavassa tilassa WLTP-testisyklissä. (Euroopan unioni 2014.)

Käyttökierä vaikuttaa ratkaisevasti akun koko, sillä lataushybridien tapauksessa käyttökierän arvo nousee sitä korkeammaksi mitä pidempi on sähköinen kantama. Lainsä-

täjät käyttävät käyttötekijää arvioidessaan ajoneuvon kykyä kulkea ilman päästöjä. Voidaan siis sanoa, että mitä pidempi sähköinen kantama sitä matalammat CO<sub>2</sub>-päästöt ovat. (Verband der Automobilindustrie 2020.)

Käyttötekijän avulla päästään hyvin lähelle todellisia olosuhteita, sillä lataushybridin kuljettajan täytyy tankata harvemmin jos päivittäiset ajomatkat pystytään suorittamaan pelkästään sähkön avulla. Käytännössä todellinen kulutus vaihtelee kuitenkin huomattavasti lataushybridillä ajettaessa, koska ihmisten ajotarpeet ovat erilaisia. Pitkillä ajomatoilla sähköinen kantama on jokseenkin merkityksetön ja päästöt syntyvät pelkästään polttomoottorista. Toisaalta lyhyet ajomatkat pystytään suorittamaan melkein kokonaan sähköisesti ilman päästöjä. (Verband der Automobilindustrie 2020.)

### 5.1 Lataushybridin eri ajotilat

Silloin kun lataushybridin akku on ladattu täyteen, ajoneuvo käyttää pääasiassa sähköä ja polttomoottori käynnistyy vain silloin, jos ajonopeus nousee riittävän suureksi. Testit voidaan jaotella kahteen eri ehtoon A ja B. Ehto A:ssa testi aloitetaan akun olessa ladattuna täyteen asti. Ehto B:ssä testi aloitetaan akun latauksen tason ollessa täysin tyhjä. Koska varausta purkava ajotila kuluttaa akun loppuun, se voidaan määritellä latauksen tyhjennystilaksi, CD (Charge-depleting) (UN-ECE säädös R101 , ehto A). (ICCT 2017.)

Kun akku on melkein tyhjä, ajoneuvo käyttää pääasiassa vain polttomoottoria. Akkua voidaan ylläpitää vielä hyödyntämällä esimerkiksi regeneroivaa jarrutusta, mutta lataustaso pysyy käytännössä samalla tasolla. Tätä asetusta kutsutaan ylläpitoajotilaksi, CS (Charge-sustaining) (UN-ECE säädös R101, ehto B). Ei ole juuri tiettyä hetkeä, jolloin ajoneuvo vaihtaa sähköisestä ajotilasta ylläpitotilaan, mutta testiprosessi varautuu laskelmiin arvioimalla tuon hetken. Lataushybridin testimenettely määrittelee polttoaineen ja sähkönkulutuksen arvot erikseen käyttämällä kumpaakin ajotilaa ja laskee tulokset yhteen painotetulla keskiarvolla lopulliseksi tulokseksi. (ICCT 2017; UNECE 2020.)

Regeneroiva jarrutus on energian talteenottoon suunniteltu toiminto sähköisille ajoneuvoille antaen mahdollisuuden hyödyntää moottoria generaattorina kun jarruja käytetään. Samalla se varastoi sähköenergiaa akustolle. Regeneroiva jarrutus on tehokas tapa lisätä sähköistä kantamaa sähköisissä ajoneuvoissa silloin kun on tarve hidastaa nopeutta usein ja erityisesti yllättäen, jolloin ennakoimalla ei voida jarrutuksen tarvetta välttää. (Eindhoven University of Technology 2011.)

Regeneroivaa jarrujärjestelmää ei voida käyttää kaikissa tilanteissa kuten siinä tapauksessa jos akun varauksen taso (State of Charge, SOC) on lähellä täyttä tai akuston lämpötila on liian korkea. Näissä tilanteissa perinteinen hydraulinen jarrujärjestelmä tuottaa vaadittavan jarruvoiman. Sähköisten ajoneuvojen jarrusuunnittelun perustana on soljuva yhteispeli hydraulisten jarrujärjestelmien ja regeneroivien jarrujärjestelmien välillä ja terminä voidaan käyttää ”momentin sekoittumista” (torque blending). Tällä tavalla pystytään välttämään voimansiirron häiriötekijöitä. (Eindhoven University of Technology 2011.)

### **Lataushybridin sähköinen kantama**

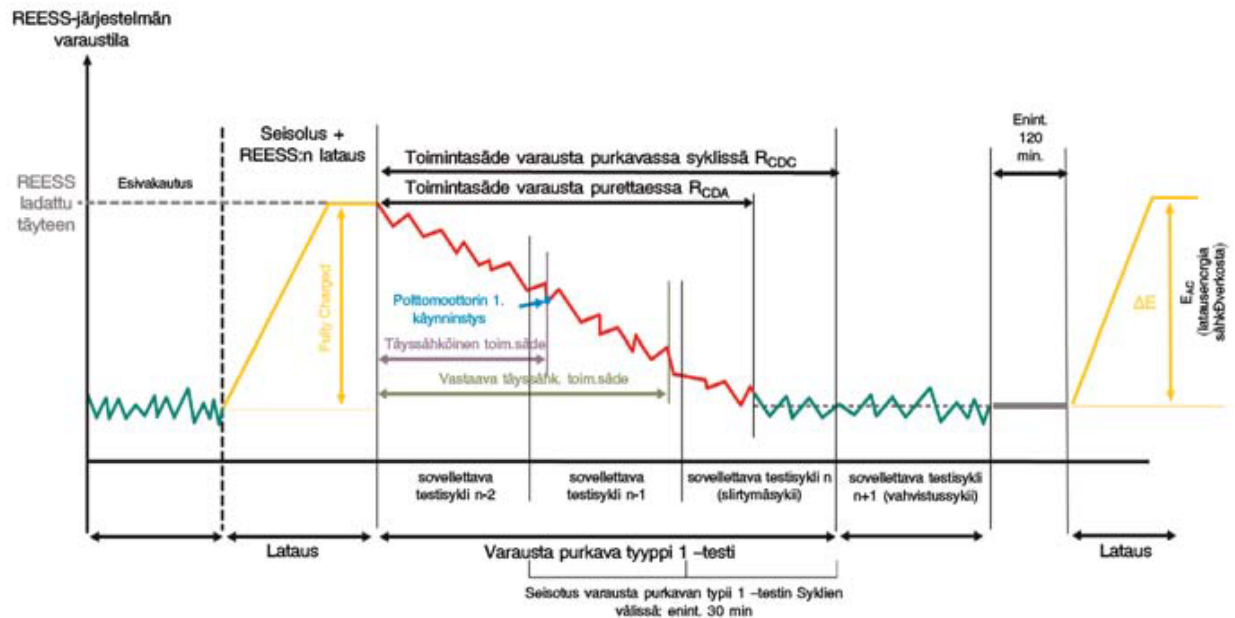
WLTP-sykli on jaettu neljään vaiheeseen: matala, keskitaso, korkea ja erittäin korkea neus ja niitä vastaavat ajo-olosuhteet, jotka ovat kaupunki, maaseutu sekä 100 km/h ja 130 km/h ajo moottoritiellä. Polttoaineen- ja sähkönkulutus määritellään jokaiselle eri vaiheelle ja näistä saadaan kootuksi yhteen hyötykerrointa (UF) käyttämällä painotettu keskiarvo. Ajoneuvon sähköinen kantama voidaan määritellä jokaiselle vaiheelle erikseen. Polttoaineen- ja sähkönkulutuksesta saadaan keskiarvo suoritettujen testisykliin mukaan. Sähköinen kantama määräytyy sähköisen ajotilan mukaan. (ICCT 2017.)

Sähköisen kantama jaotellaan WLTP:ssa neljään osaan: täyssähköinen kantama (AER, ajettu matka ennen polttomoottorin ensimmäistä käynnistymistä), todellinen varausta purkava kantama ( $R_{CDA}$ , kokonaiskantama purkavassa ajotilassa), varausta purkavan syklin kantama ( $R_{CDC}$ , kokonaiskantama enintään, sisältää siirtymäsyklin) ja viimeiseksi vastaava täyssähköinen kantama (EAER, osa kokonaiskantamaa  $R_{CDA}$ , joka voidaan määritellä sähköenergian kulutuksena akulta). Lisäksi täydellä sähköllä ajettava kantama ja vastaava täyssähkökantama määräytyvät myös ns. WLTP-kaupunkitestisyklin mukaan, mikä on käytännössä yhdistelmä matalan ja keskitason ajovaiheita WLTP-syklissä. Näistä saadut tulokset kuvaavat ensisijaisesti ajoneuvon suorituskykyä kaupunkiolosuhteissa. WLTP-syklissä saadaan mitattua CO<sub>2</sub>-päästöt, polttoaineen ja sähköenergian kulutus. (ICCT 2017.)

### **5.2 Lataushybridin polttoaineen- ja sähkönkulutuksen määräytyminen (WLTP)**

Varausta purkava (CD) tyyppi 1-testi (kuvio 1) voidaan aloittaa, kun ajoneuvo on esivaikutettu oikeisiin olosuhteisiin. Ajoneuvo saatetaan oikeisiin ennakkoehtoihin ajamalla WLTP-sykli läpi vähintään kerran. Testin aluksi ajoneuvoa seisotetaan ennalta määrä-

tyissä olosuhteissa ja akun varaustaso ladataan 100-prosenttisesti täyteen. Testilaboratorion lämpötilan olosuhteena käytetään 23°C. Seisontavaiheen jälkeen ajoneuvo siirretään alustadynamometrille.

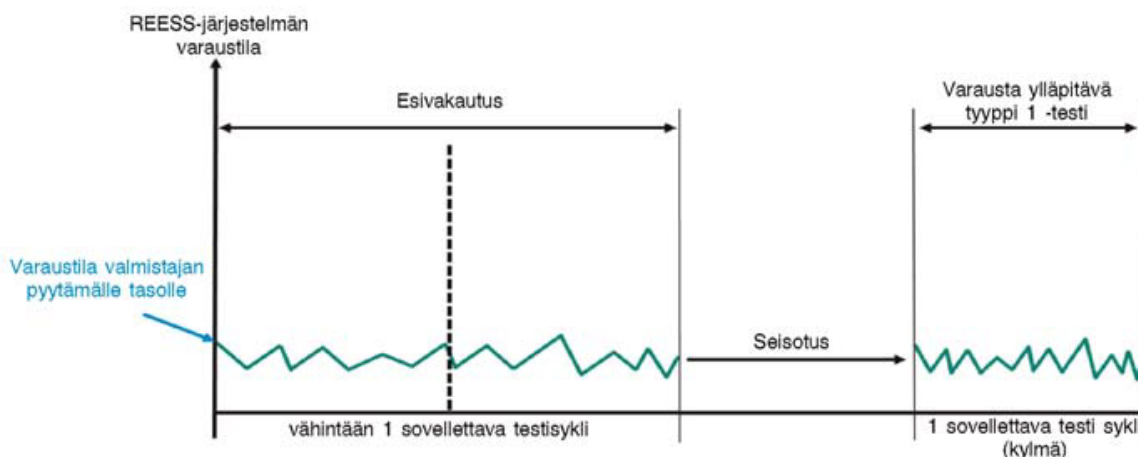


Kuvio 1. PHEV-ajoneuvot, varausta purkava (CD) tyyppi 1-testi (Euroopan komissio 2019.)

WLTP-syklejä suoritetaan alustadynamometrissä useita aina siihen saakka, kunnes testin rajapisteen vaatimus on saavutettu. Tätä rajapistettä voidaan kutsua vahvistussykliseksi (n+1) kun taas edellistä sykliä, jossa sähköisestä asetuksesta siirrytään polttomoottori-asetukseen, kutsutaan siirtymäsykliseksi (n). Ajoneuvosta mitataan myös polttoaineenkulutus ja päästöt siitä lähtien kun polttomoottori käynnistyy. Kun aikaa on kulunut 120 minuuttia, akku on uudelleen ladattu täyteen, josta mitataan ladattu sähköenergia ( $E_{AC}$ ). REESS (**R**echargeable **E**nergy **S**torage **S**ystems) on ladattava sähköenergianvarastojärjestelmä, jolla tarkoitetaan akustoa ja latausjärjestelmää sähköautoissa ja hybridiajoneuvoissa. (ICCT 2017.)

Varausta ylläpitävässä (CS) tyyppi 1-testissä (kuviot 2) ajoneuvo esivakautetaan ensin oikeisiin olosuhteisiin ja varaus säädetään ennalta määrättylle tasolle. Varaustasoa (SOC) ylläpidetään lähellä tyhjää. Samalla suoritetaan ensimmäinen testisykli. Syklin jälkeen ajoneuvoa seisotetaan siihen asti kun rajapisteen vaatimus on saavutettu. Tätä

seuraa uusi sykli ja polttomoottori käynnistetään kylmänä. Samalla mitataan polttoaineenkulutus ja päästöt. Varausta purkava (CD) tyyppi 1-testi ja varausta ylläpitävä (CS) tyyppi 1-testi suoritetaan itsenäisesti, mutta tulokset lasketaan yhteen painotetulla keskiarvolla.



Kuvio 2. PHEV-ajoneuvot, varausta ylläpitävä (CS) tyyppi 1-testi (Euroopan komissio 2019.)

Laskelma keskimääräisestä painotetusta polttoaineen kulutuksesta WLTP:ssä:

$$C = UF \times C_1 + (1 - UF) \times C_2$$

**C = painotettu polttoaineen kulutus (l/100 km)**

**C<sub>1</sub> = polttoaineen kulutus (l/100 km) latauksen tyhjennystilassa (CD)**

**C<sub>2</sub> = polttoaineen kulutus (l/100 km) ylläpito ajotilassa (CS)**

**UF = sähköisen kantaman käyttötekijä, sähköinen kantama sisältää siirtymäsyklin**

Sähköverkosta ladattuun sähköenergiaan ja vastaavaan sähkökäyttöiseen toimintatavateeseen perustuva sähköenergian kulutus:

$$EC = \frac{E_{ac}}{EAER}$$

**EC= energian kulutus (Wh/km)**



**$E_{AC}$  = ladattu sähköenergia (Wh)**

**$EAER$  = vastaava täyssähköinen toimintasäde (km)**

Vastaava sähköinen kantama ( $EAER$ ) määritellään ottamalla tarkasteluun ajettu kokonaismatka ja lisäämällä siirtymäsykli  $n$  ja vähentämällä testissä osiot, joissa polttomootori on ollut toiminnassa. Polttomootorin toiminnan osuus saadaan kun verrataan latauksen varausta ylläpidettäessä (CS) syntyvien  $CO_2$ -päästöjen massaa varausta purettaessa (CD) syntyvien päästöjen keskimääräiseen massa. Yhtälö on seuraava:

$$EAER = \left( \frac{M_{CO_2,CS} - M_{CO_2,CD,avg}}{M_{CO_2,CS}} \right) \times R_{CDC}$$

**$M_{CO_2,CS}$  = varausta ylläpidettäessä syntyvien  $CO_2$  -päästöjen massa (g/km)**

**$M_{CO_2,CD,avg}$  = varausta purettaessa syntyvien  $CO_2$ -päästöjen massan aritmeettinen keskiarvo (g/km)**

**$R_{CDC}$  = toimintasäde varausta purkavassa syklissä, sisältää siirtymäsyklin  $n$  (km)**

Esimerkiksi Toyota Prius Plug-in hybridin vastaava täyssähköinen toimintasäde:

$$EAER = \left( \frac{99 \text{ g/km} - 29 \text{ g/km}}{99 \text{ g/km}} \right) \times 45 \text{ km} \approx 32 \text{ km}$$

PHEV-ajoneuvojen todellinen sähkökäyttöinen toimintasäde varausta purkavassa tilassa saadaan kun lasketaan etäisyydet yhteen ennen siirtymäsykliä  $n$  ja suoritetaan  $CO_2$ -laskentaan perustuva lineaarinen interpolointi siirtymäsyklin aikana, jolloin saadaan siirtymäpiste purkavasta tilasta (CD) ylläpitotilaan (CS). Yhtälö lasketaan:

$$R_{CDA} = \sum_{c=1}^{n-1} d_c + \left( \frac{M_{CO_2,CS} - M_{CO_2,n,cycle}}{M_{CO_2,CS} - M_{CO_2,CD,avg,n-1}} \right) \times d_n$$

**$R_{CDA}$  = todellinen sähkökäyttöinen toimintasäde purkaavassa tilassa**

**$M_{CO_2,CS}$  = varausta ylläpidettäessä syntyvien CO<sub>2</sub>-päästöjen massa (g/km)**

**$M_{CO_2,n,cycle}$  = CO<sub>2</sub>-päästöjen massa varausta purkavan tyyppi 1-testin soveltuvassa WLTP-testisyklissä (siirtymäsykli n) (g/km)**

**$M_{CO_2,CD,avg,n-1}$  = CO<sub>2</sub>-päästöjen massan aritmeettinen keskiarvo varausta purkavassa tyyppi 1-testissä testin alusta sovellettavan WLTP-testisyklin n-1 loppuun (g/km)**

**$d_c$  = varausta purkavan tyyppi 1-testin sovellettavassa WLTP-testisyklissä c ajettu matka (km)**

**$d_n$  = varausta purkavan tyyppi 1-testin sovellettavassa WLTP-testisyklissä n ajettu matka (km) (Euroopan komissio 2019. Asetus 2017/1151.)**

## 6 HENKILÖAUTOJEN VEROTUS SUOMESSA

### 6.1 Autoiluun kohdistuva verotus Suomessa

Suomen valtio kerää tieliikenteestä monenlaisia veroja. Valtion verotulot tieliikenteestä olivat yli 8 miljardia vuonna 2018. Suurin osuus veroista syntyy polttoaineiden valmisteverosta, jota kerätään bensiinistä ja dieselpolttonesteestä. Henkilöautojen verotuksessa on käytössä autovero, ajoneuvovero sekä polttoainevero. (Autoalan tiedotuskeskus 2020c.)

Autoveroa pitää maksaa kolmessa eri tapauksessa: kun ajoneuvo tuodaan ulkomailta ja se rekisteröidään Suomeen, kun ajoneuvo ostetaan rekisteröimättömänä Suomesta ja se rekisteröidään ensimmäisen kerran ja kun ajoneuvo otetaan käyttöön Suomessa (jos sen käyttö ei ole autoverotonta tai ajoneuvon rakenteen muuttuessa). Autovero määräytyy auton yleisen kuluttajahinnan perusteella. (Verohallinto 2020a.)

Autoveron veroprosentin suuruus perustuu pääsääntöisesti auton valmistajan ilmoittamiin CO<sub>2</sub>-päästöihin (g/km), jotka vastaavat yhdistettyä kaupunki- ja maantieajon polttoaineen kulutusta (l/100km). Hiilidioksidipäästöt on mitattu 1.9.2018 lähtien WLTP-mittaustavan mukaan. Veroprosentti kasvaa mitä enemmän CO<sub>2</sub>-päästöt nousevat. Autoverolle on määritelty enimmäis- ja vähimmäisprosentit. Tällä hetkellä voimassa oleva 1.1.2019 jälkeen sovellettavan verotaulukon mukaan 0-päästöisen ajoneuvon veroprosentti alkaa 2,7 prosentista. Autovero ei eritele eri käyttövoimia, se perustuu käytännössä ainoastaan CO<sub>2</sub>-päästöarvoon. (Verohallinto 2020a.)

Ajoneuvovero on vuotuinen vero. Se koostuu kahdesta osasta, perusverosta ja käyttövoimaverosta. Henkilöauton perusvero (taulukko 4) määräytyy ensijaisesti valmistajan ilmoittamien CO<sub>2</sub>-päästöjen mukaisesti. Jos päästötietoa ei saada selville rekisteristä, perusvero määräytyy auton kokonaismassan perusteella. (Traficom 2020a.)

Taulukko 4. Perusvero 2020 WLTP (Veronmaksajat 2020.)

Ajoneuvon CO <sub>2</sub> -päästöt g/km	Veron määrä €/vuonna 2020
0	53,29
70	83,58
80	89,42
90	96,36
100	103,66
110	112,05
120	120,81
130	130,30
140	142,71
150	160,96
160	181,04
170	203,67
180	228,49
190	255,86
200	285,43
210	316,45
250	424,49
300	528,15
350	605,53
400	654,44

Käyttövoimaverovelvollisuuden ehto toteutuu ajoneuvolle, jota käytetään muulla voimalla tai polttoaineella kuin moottoribensiinillä. Lataushybridiajoneuvoissa sovelletaan käyttövoimaveron ehtoa. Henkilöauton käyttövoimaveron (taulukko 5) on dieselkäyttöisissä autoissa lähtökohtaisesti 5,5 senttiä päivässä jokaiselta alkavalta 100 kilogrammalta. Kaikilla muilla polttoainella vero on pienempi kuin dieselillä. (Traficom 2020a.)

Taulukko 5. Käyttövoimaveron 2020 (Traficom 2020.)

Käyttövoima	Snt/päivä/alkava 100 kg
Metaanipolttoaine	3,1
Sähkö ja diesel	4,9
Sähkö ja moottoribensiini	0,5
Sähkö	1,5
Diesel	5,5

Bensiinin ja dieselöljyn verotus koostuu polttoaineverosta ja arvonlisäverosta. Polttoainevero on bensiinin ja dieselöljyn valmistuksesta kannettava valmistevero, joka koostuu energiasisältöverosta, hiilidioksidiverosta ja huoltovarmuusmaksusta. Bensiinin kuluttajahinnasta erilaisten verojen osuus oli maaliskuussa 2020 keskimäärin 65-70 prosenttia ja dieselpolttoaineen kohdalla n. 55 prosenttia. Polttoainevero on kiinteä senttimäärä per litra, joten sen prosenttiosuus hinnasta vaihtelee öljytuotteiden maailmanmarkkinahintojen muuttuessa. (Autoalan tiedotuskeskus 2020d.)

## 6.2 Toyota Prius kustannusten vertailu

Ajoneuvon kustannuksia ja verotusta (taulukko 6) voidaan havainnollistaa vertailemalla saman automerkin ja mallin eri versioita toisiinsa. Tässä tapauksessa vertailuun on otettu Toyota Priuksen Plug-in hybridiversio 1.8 litraisella bensiinimoottorilla ja Priuksen ei-ladattava hybridi-malli samalla moottori- ja vaihteistokokoonpanolla. Jälkimmäisessä vetotapana on neliveto. Molemmat versiot ovat hybridejä, mutta vain ensin mainittua pystyy lataamaan ulkoisesta lähteestä. Pyrkimyksenä on saada selville, tuleeko lataushybridillä ajaminen halvemmaksi pidemmällä aikavälillä.

Taulukko 6. Kustannusten vertailu (Electric Vehicle Database 2020; Toyota Auto Finland Oy 2020.)

Ajoneuvo	Toyota	Toyota
Malli	Prius Plug-in hybrid	Prius hybrid, ei-ladattava
Käyttövoima	1,8 l bensiinimoottori ja lataushybridi	1,8 l bensiinimoottori ja hybridi
Vaihteisto ja voimansiirto	e-CVT automaatti, etuveto	e-CVT automaatti, neliveto
Yhdistetty kulutus (l/100km), WLTP	1,3	4,4
Sähkön kulutus (kWh/100km)	15,2	
CO <sub>2</sub> -päästöt g/km, yhdistetty WLTP	29	99
Oikeisiin olosuhteisiin lisättävä kulutuskerroin (10%)	1,1	1,1
Latauksesta syntyvät häviöt (10%)	1,1	
Polttoainesäiliön koko (l)	43	43
Sähköinen kantama (km)	45	
Suurin teho (kW)	90	90
Suurin vääntömomentti (Nm)	142	142
Akuston koko (kWh)	8,7875	1,3104
Kokonaismassa (kg)	1930	1845
Autoveroton hinta (€, sis. ALV), ei lisäv.	39020,00	33890,00
Autovero (€)	1210,67	2281,87
Hankintahinta yhteensä (€)	40230,67	36171,87
Perusvero (€/365 pv)	63,14	102,93
Käyttövoimaveron (€/365 pv)	36,50	0,00
Ajoneuvovero (perus- + käyttövoimaveron) (€)	99,64	102,93
Polttoaineen vero bensiini (snt/l)	70,25	70,25
Bensiinin arvioitu veroton hinta (snt/l)	80,00	80,00
Bensiini 95E verollinen hinta (€/l)	1,525	1,525
Sähkön hinta (€/kWh)	0,15	0,15
Ladattu sähkön hinta vuodessa (€) (1216 kWh)	200,64	
Lataaminen julkinen latauspiste (7€/krt) 26 krt/v	182	
Ajosuorite vuodessa (km)	20000	20000
Ajosuorite pelkällä sähköllä (km)	8000	
Polttoaineen kulutus vuodessa ka (l)	156	968
Polttoainekustannus vuodessa (€)	237,90	1476,20
Latauksen kustannukset (€/v)	382,64	

Hankintahinta lataushybridin kohdalla on jonkin verran suurempi, mutta kustannukset tasaantuvat vuosien mittaan alhaisempien polttoainekustannusten vuoksi. Huoltojen hinnat arvioidaan kummankin automallin kohdalla samankaltaisiksi, joten ne voidaan jättää arviosta pois. Ajosuoriteeksi vuodessa valitaan 20000 kilometriä. Sähkön osuus on 8000 kilometriä vuodessa. Toyota Prius Plug-in hybridin valmistajan ilmoittama sähkönkulutus 15,2 kWh/100 km antaa teoreettiseksi vuosikulutukseksi 1216 kWh.

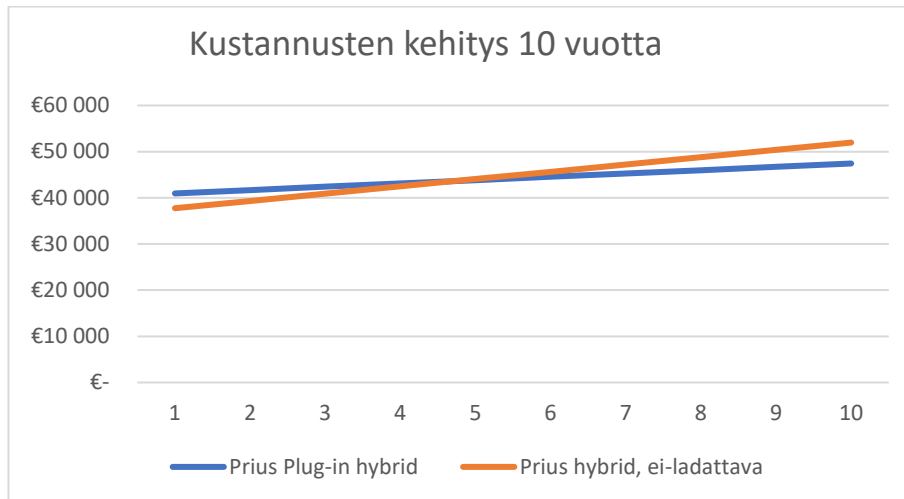
Laskelmassa otetaan huomioon aitoja olosuhteita vastaava kulutuskerroin (10 %) ja lataushybridillä otetaan huomioon myös latauksesta syntyneet häviöt (10 %). Lataushybridin kohdalla olettamuksena on se, että auto ladataan vähintään kerran päivässä. Kotona ladattaessa sähkön hinnaksi vakioidaan 0,15 €/kW. Laskelman mukaan lataushybridillä ladataan joka toinen viikko julkisella latauspisteellä. Referenssinä latauksen hinnalle käytetään K-latauksen pikalatauksen hintaa ja latausajaksi valitaan 30 minuuttia.

(aloitusmaksu 1 €, pikalataus 0,20 €/min) Laskelmassa (taulukko 7) on selitetty kustannukset 10 vuoden ajalta.

Taulukko 7. Vuosittaiset kustannukset 10 vuoden ajalta

Ajoneuvo	Toyota	Toyota Prius Active 5-ovinen
Malli	Prius Plug-in hybrid	Prius hybrid, ei-ladattava
Hankintahinta	40 230,67 €	36 171,87 €
Ajoneuvovero + polttoainekustannukset vuodessa (€)	720,18 €	1 579,13 €
1. vuosi	40 950,85 €	37 751,00 €
2. vuosi	41 671,03 €	39 330,13 €
3. vuosi	42 391,21 €	40 909,26 €
4. vuosi	43 111,39 €	42 488,39 €
5. vuosi	43 831,57 €	44 067,52 €
6. vuosi	44 551,75 €	45 646,65 €
7. vuosi	45 271,93 €	47 225,78 €
8. vuosi	45 992,11 €	48 804,91 €
9. vuosi	46 712,29 €	50 384,04 €
10. vuosi	47 432,47 €	51 963,17 €

Loppupäätelmänä voidaan todeta, että Toyotan lataushybridi on kustannusten (kuvio 3) suhteen tasoissa kun 4,5 vuotta aikaa on kulunut. Tässä ei oteta huomioon sitä, että lataushybridillä ajetaan todennäköisesti enemmän kuin 60 % kilometreistä bensiinillä ja ajomatkat ja olosuhteet vaihtelevat paljon, näin on myös ei-ladattavan hybridin kohdalla.



Kuvio 3. Kustannusten kehitys 10 vuotta

Lataushybridin taloudellisuus vaatii paljon suunnitelmallisuutta, reitit on suunniteltava latauspisteiden varalta jos matkat kasvavat suuremmiksi kuin sähköinen kantama. Pidemmillä matkoilla pelkällä polttomoottorilla eteneminen kasvattaa keskikulutusta huomattavasti. Käytännössä paras tapa verrata kustannuksia olisi kerätä tietoa talteen kulutuk-

sesta ja kustannuksista muutaman vuoden ajalta, näin pystyttäisiin vertailemaan kustannuksia oikeissa ajo-olosuhteissa. Voidaan kuitenkin kyseinalaistaa lataushybridin mielekkyyttä jos kustannukset ovat niin lähellä ei-ladattavaa hybridiä. Säästöjä syntyy vain siinä tapauksessa, jos lataushybridä ladataan säännöllisesti.

Teknologian tutkimuskeskus VTT:n laskelma autoilun vuotuisista kustannuksista vuodelta 2019 loppupäätelmänä on se, että viiden vuoden aikana 15000 kilometrin ajosuoritteella ajaminen on halvinta bensiinikäyttöisellä tai maakaasulla käytävällä autolla. Ladattavasta hybridistä raportti ei anna kovin mairittelevaa kuvaa, vuotuiset kustannukset ovat viiden vuoden ajalta kaikkein kalleimmat. (Traficom 2019.)



## 7 LATAUSHYBRIDIEN TODELLINEN YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYS

Lataushybridiajoneuvossa on sekä polttomoottori että sähköinen voimalähde. Autoteollisuudella on vakava pohdinnan paikka. Euroopan unionin viimeisin vuonna 2019 laadittu asetus määrittelee rekisteröityjen uusien henkilöautojen keskimääräisiksi hiilidioksidipäästöjen tavoitetasoksi 95 g CO<sub>2</sub>/km (NEDC) ja uusien kevyiden hyötyajoneuvojen 147 g CO<sub>2</sub>/km (NEDC). WLTP-mittaustavalla laskettuna tavoitearvot ovat jonkin verran korkeammat. Asetus tulee voimaan vuoden 2020 alusta ja täysmääräisenä vuoden 2021 alusta. (EU asetus 2019/631 2020.)

Kyseiset tavoitteet tarkoittavat autonvalmistajien kohdalla käytännössä sitä, että kaikkien uusien autojen keskimääräisten CO<sub>2</sub>-päästöjen täytyy alittaa 95 g/km. Automerkin keskimääräiset CO<sub>2</sub>-päästöarvot saadaan laskemalla yksittäisen automerkin kaikkien mallisarjojen keskimääräiset päästöt yhteen ja jakamalla summa myytyjen autojen lukumäärällä. Jos tavoitteisiin ei päästä niin sanktiot ovat suuret. Tiukat päästönormit ovat aiheuttaneet autotehtaiden suunnitteluosastoille päänsäryn, sillä vähemmän kulutettavien autojen suunnittelu vaatii myös valtavasti resursseja. Tämän takia autotehtaat ovat alkaneet suosia sähkö- ja hybridiajoneuvoja suunnittelun lähtökohtana, koska sähköistämisen avulla päästötavoitteisiin on helpompi päästä.

Euroopan ympäristökeskuksen (EEA) vuoden 2018 raportin mukaan sähköautojen valmistuksessa syntyvät kasvihuonepäästöt ovat 1.3-2 kertaa korkeammat verrattuna saman kokoluokan polttomoottoriajoneuvoihin. Polttomoottorin ja vaihteiston yhdistelmän valmistamiseen käytetty energiamäärä on suhteellisesti samaa suuruusluokkaa kuin sähkömoottorin ja siihen liitettyjen komponenttien valmistaminen sähköajoneuvoihin. Sähköajoneuvot vaativat tämän lisäksi myös akuston. Suuret päästöerot polttomoottoriajoneuvojen ja sähköajoneuvojen valmistuksessa syntyvät sähköauton akuston valmistuksesta. Myös akuston koko vaikuttaa paljon syntyviin päästöihin. (Euroopan ympäristökeskus 2018.)

Sähköisten ajoneuvojen akkujen valmistuksen hiilijalanjäljen mittaamiseen löytyvää numeromateriaalia on hyvin vähän saatavilla. Mitattuja arvoja voidaan saada selville simuloimalla energiankäyttöä eri tietokonemalleihin tukeutuen tai käyttämällä ja analysoimalla

muiden käyttäjien kuten autotehtaiden ja riippumattomien tutkimuslaitosten tutkimusdataa.

Ruotsalaisen ilmastotutkimusinstituutin IVL:n mukaan litiumioniakkujen valmistaminen kevyisiin sähköajoneuvoihin tuottaa keskimäärin 150-200 kg CO<sub>2</sub>-päästöjä kilowattituntia kohden. Sähköajoneuvon 100 kilowattitunnin akun valmistuksen hiilidioksidipäästöt ovat näin ollen jopa 15-20 tonnia ennen kuin autolla on ajettu metriäkään. Oletuksena on, että akunvalmistuksessa käytettävä energia on 50-70-prosenttisesti fossiilista. Tutkimuksessa mainitaan kuitenkin, että tietoa ja tutkimustuloksia tarvitaan vielä akkujen valmistajilta ja teknologia kehitty nopeasti. Päästöjä voidaan alentaa huomattavasti valmistuksen energiankäytön valinnoilla. Päästöihin vaikuttavat myös akuston materiaalit ja raaka-aineet sekä akuston muotoilu. (IVL Svenska Miljöinstitute 2017.)

Kun sähköistä ajoneuvoa ladataan, täytyy ottaa huomioon myös sähköntuotannosta syntyvät päästöt. Suomen sähköntuotannon CO<sub>2</sub>-päästökerroin kolmen vuoden liukuvana keskiarvona on 141 g/kWh. Esimerkiksi ladattavan hybridin, tässä tapauksessa Toyota Priuksen energiankulutus on 15,2 kWh/100 km. Saatua CO<sub>2</sub>-päästöarvo on 21 g/km. Ensirekisteröityjen henkilöautojen keskimääräiset WLTP CO<sub>2</sub>-päästöt Suomessa huhtikuulta 2020 ovat 127,9 g/km sisältäen hybridi-, sähkö- ja maakaasuautot. Bensiinikäyttöisten arvot ovat vastaavasti 139,6 g/km ja dieselkäyttöisten 177,7 g/km. (Motiva 2020; Traficom 2020c.)

Toyota Priuksen lataushybridin osalta täytyy ottaa huomioon myös bensiinimoottorin päästöt, mutta teoriassa päästöt ovat hybridiperiaatteen ansiosta alhaisemmat verrattuna muihin käyttövoimiin poislukien täyssähköautot. Bensiinimoottorin käytön määrä on ratkaiseva päästöjen osalta jos ajetaan pitkiä matkoja, johon akun kantama ei riitä.

Toisaalta herää epäily tehokkaampien hybridiautomallien kohdalla ”viherpesusta”, sillä virallinen CO<sub>2</sub> -arvo määrittelee Suomessa uusista autoista perittävän autoveron määrän. Verrattuna vastaavan tehoisiin bensiini- ja dieselajoneuvoihin ladattavan hybridin CO<sub>2</sub> -arvot WLTP-mittauksella ovat huomattavasti alhaisemmat. Käytännössä ladattavassa hybridissä käytettävä bensiini- tai dieselmoottori voi olla sama kuin vastaavassa ei-hybridissä, mutta eron tekee sähkömoottori ja akusto.

Kuten aikaisemmin on todettu, niin lataushybridin sähköinen kantama määrittelee syntyvät CO<sub>2</sub>-päästöt. Jos lataushybridiautoa käytetään ainoastaan polttomoottorikäyttöisenä, CO<sub>2</sub> -päästöt nousevat vastaavasti korkeammiksi. Suurimpana tekijänä päästöihin vai-

kuttaa, kuinka paljon bensiiniä korvataan sähköllä. Lisäksi Suomen vuodenajat ja vaihtelevat sääolosuhteet vaikuttavat kulutusarvoihin nostavasti, varsinkin talvella kun lämpötilat laskevat nollan asteen alapuolelle.

Uusimman vuoden 2016 henkilöliikennetutkimuksen mukaan suomalaisten ajosuorite vuorokaudessa henkeä kohden oli 2,7 kotimaanmatkaa, joiden yhteispituus oli 41 kilometriä. Tätä taustaa vasten voidaan todeta, että lataushybridin sähköinen kantama riittäisi useimmille ihmisille päivittäisiin ajoihin. (Tilastokeskus 2019.)

Autoalan tutkimuskeskus selvitti syksyllä 2019 ladattavien autojen käyttö- ja lataustapoja posti- ja nettikyselynä toteutetulla haastattelututkimuksella. Kyselyaineiston vastaukset kerättiin loka-, marras- ja joulukuussa 2019. Otoksena poimittiin satunnaisesti 5000 ladattavan auton omistajaa Suomessa. Tutkimuksessa kävi ilmi, että yli puolet ladattavien hybridien kilometreistä ajetaan sähköllä. Ladattavien hybridien sähköllä ajon osuus oli 53 prosenttia. Tuloksista selvisi myös se, että lähes 85 prosenttia auton omistajista lataa autoaan kotonaan vähintään kolmesti viikossa ja päivittäin yli 70 prosenttia. Lähes kolmannes ladattavien hybridien omistajista lataa autoaan päivittäin tai lähes päivittäin työpaikalla. Suurimmalle osalle ladattavien autojen omistajista kotilataus ja auton lataaminen työpaikalla riittää useimmiten päivittäisiin ajomatkoihin. (Autoalan tiedotuskeskus 2020e.)

Konsulttiyhtiö The Miles Consultancyn (TMC) vuoden 2017 tutkimus kartoitti, paljonko suosituimpien ladattavien hybridien ajonaikaiset todelliset päästöt ovat. Tutkimuksessa oli mukana BMW:n, Mitsubishin, Mercedes-Benzin ja Volkswagenin autoja. Autojen CO<sub>2</sub>-päästöarvot olivat todellisuudessa keskimäärin jopa 2,5-3 kertaa suuremmat kuin valmistaja ilmoitti. (Helsingin sanomat 2020.)

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Lataushybridiajoneuvossa on polttomoottori ja sähkömoottori, joka käyttää akustoon ladata energiaa. Hybridit, joita voidaan ladata ulkoisesta lähteestä ovat viimeisen 10 vuoden aikana yleistyneet runsaasti. Kehityksen suuntaus autoilun sähköistämiseen on seurausta tiukentuneista päästömääräyksistä EU:n alueella. Uusien rekisteröitävien henkilöautojen keskimääräisten hiilidioksidipäästöjen rajaksi on asetettu 95 g/km vuodesta 2020 eteenpäin. Täyssähköautot ovat ensisijaisia kehityksen kohteita, mutta myös lataushybrideillä on paikkansa edullisemman hankintahintansa vuoksi.

Lataushybridin taloudellisuus riippuu paljon siitä, kuinka säännöllistä ajoneuvon lataaminen on. Myös oma ajotyyli ja millaisessa ajoympäristössä ajetaan vaikuttavat. Lataushybridi on kompromissi pelkällä sähköllä ajamisen ja polttomoottorilla ajamisen välillä. WLTP-tuloksen laskennassa CO<sub>2</sub>-päästöt pienenevät sen mukaan mitä pidempi sähköisen kantama on. Säästöjä syntyy vain siinä tapauksessa jos ajoneuvoa ladataan säännöllisesti ja samalla ajotapa on pyrittävä optimoimaan taloudelliseksi. Liikenteen olosuhteet ovat myös vaikuttamassa päästöihin. Tekninen kehitys on tällä hetkellä nopeaa, mikä parantaa akkujen kapasiteettia ja samalla ajoneuvolla ajettavaa sähköistä kantamaa. Samalla päästöt vähenevät.

Ajoneuvojen päästömittauksessa tapahtui suuri muutos, kun siirryttiin WLTP-mittaustapaan. Se on parantanut päästöjen vertailun läpinäkyvyyttä, mutta samalla tiedostetaan, että se toimii välietappina tulevaisuuden kehittyneimmille mittaustavoille. RDE-testi on jo olemassa, mutta sekään ei ole täydellinen. Jokainen ajomatka on erilainen ja olosuhteet muuttuvat. Autoilun päästöjen reaaliaikainen mittaus auton liikkeellä ollessa pystyttäisiin toteuttamaan nykytekniikan puitteissa jo tänään. Tähän kun lisättäisiin autoilun kilometriperustainen verotus niin autoilija maksaisi ainoastaan ajamansa matkan mukaan. Verotus voitaisiin suorittaa edelleen CO<sub>2</sub>-perustaisesti, mutta tiettyjä veroja kuten autoveroa voitaisiin keventää. Asia ei ole kuitenkaan yksioikoinen, sillä paljon mietittävää vaaditaan toteuttamistavan ja lainsäädännön näkökulmasta.

Lataushybridien vähäpäästöisyys perustuu siihen, että ajot suoritetaan mahdollisimman paljon sähköisessä ajotilassa. Useimmille ihmisille lataushybridin sähköinen kantama riittäisi hyvin päivittäisiin ajoihin.

## 9 YHTEENVETO

Lataushybridi (Plug-in hybrid) on ajoneuvo, jossa on sekä polttomoottori että sähkömoottori ja auton akkua voidaan ladata ulkoisesta lähteestä. Liikenne on yksi suurimmista tekijöistä ilmastonmuutoksen taustalla. Vasta viime vuosina on havahduttu ymmärtämään sen vaikutuksia maapallolle. Lataushybridit ovat hyvä lisä liikenteeseen jos halutaan vähentää päästöjä.

Suomalaisten mielenkiinto lataushybridejä kohtaan on nousussa. Taustalla on Suomen verolainsäädäntö, jossa autovero määräytyy suurimmalta osin CO<sub>2</sub>-arvojen mukaan. Uhkana lataushybridien yleistymiselle on niiden korkeampi hankintahinta ja latausmahdollisuuksien puuttuminen.

Viranomaisten tiukat päästövaatimukset ajoneuvoille ovat asettaneet autoteollisuudelle suuren haasteen, mutta myös samalla mahdollisuuden kehittää uusia innovaatioita. Sähköisten ajoneuvojen teknologia on ottanut kehityksessä suuria harppauksia viimeisen vuosikymmenen aikana, jonka yhtenä ajurina on ollut huoli ilmastonmuutoksesta ja kasvaneista kasvihuonepäästöistä.

Nykyisin käytössä oleva WLTP-päästömenettely on suuri muutos aikaisempaan mittaus-tapaan verrattuna. WLTP-testi on kuormittavampi ja pitkäkestoisempi antaen todennu-kaisemman tuloksen kuin NEDC. Lataushybridien WLTP-mittauksessa erityispiirteenä käytetään työkaluna ajotilastoihin perustuvaa käyttökäyttäjä (UF). Se määrittelee lataushybridin sähköisen kantaman. Varausta purkava ajotila ja varausta ylläpitävä ajotila määritellään WLTP:ssä erikseen ja tulokset lasketaan yhteen painotetulla keskiarvolla. Tuloksena saadaan ajoneuvon polttoaineen- ja sähkönkulutus.

Henkilöautojen verotus on Suomessa korkea. Valtion keräämät verotulot tieliikenteestä ovat viime vuosina olleet keskimäärin yli 8 miljardia euroa. Henkilöautojen verotuksessa on käytössä autovero, ajoneuvovero sekä polttoainevero. Liikenteen verojen määräytyminen Suomessa perustuu pääsääntöisesti CO<sub>2</sub>-päästölukemiin.

Pidemmällä aikavälillä lataushybridillä ja muilla sähköautoilla ajaminen on päästöjen kannalta ympäristöystävällisempi valinta. Sähköisten ajoneuvojen valmistamisen päästöt ovat vielä huomattavan suuret verrattuna polttomoottoriautoon. Todennäköisesti tuotannon päästöt tulevat pienenemään huomattavasti tulevaisuudessa, tämä pätee jokaiseen käyttövoimaan, mutta erityisesti sähköautoihin.

Teknologia kehittyy jatkuvasti. Paljon riippuu myös siitä millä tavalla sähkö on tuotettu. Päästöjen alentaminen on ilmastonmuutoksen torjumiseksi välttämätöntä ja vain aika näyttää mikä on liikenteen kannalta paras käyttövoima. Polttomoottoriautot tulevat luultavasti pysymään liikenteessä vielä vuosikymmeniä. Kehitys ei tapahdu hetkessä ja siirtymäaikoja tarvitaan päätösten tueksi. Tällä hetkellä näyttää kuitenkin siltä, että sähköiset ajoneuvot ovat liikenteen tulevaisuus.

## LÄHTEET

Autoalan tiedotuskeskus 2020a. Hybridiautot yleistyvät. Viitattu 20.5.2020 [http://www.aut.fi/tieliikenne/polttoaineet\\_ ja\\_kayttovoimat/hybridiautot](http://www.aut.fi/tieliikenne/polttoaineet_ ja_kayttovoimat/hybridiautot)

Autoalan tiedotuskeskus 2020b. Miten WLTP-mittaus poikkeaa aiemmasta NEDC-mittauksesta? Viitattu 12.2.2020 [http://www.aut.fi/ymparisto/autojen\\_paastot\\_ ja\\_niiden\\_mittaus/wltp-mittaus/miten\\_mittaustapa\\_muuttuu](http://www.aut.fi/ymparisto/autojen_paastot_ ja_niiden_mittaus/wltp-mittaus/miten_mittaustapa_muuttuu)

Autoalan tiedotuskeskus 2020c. Valtion verotulot tieliikenteestä. Viitattu 3.6.2020 [http://www.aut.fi/tilastot/verotus\\_ ja\\_hintakehitys/valtion\\_verotulot\\_tieliikenteesta](http://www.aut.fi/tilastot/verotus_ ja_hintakehitys/valtion_verotulot_tieliikenteesta)

Autoalan tiedotuskeskus 2020d. Liikennepolttoaineiden verotus. Viitattu 2.6.2020 [http://www.aut.fi/tieliikenne/autoilun\\_verotus/liikennepolttoaineiden\\_verotus](http://www.aut.fi/tieliikenne/autoilun_verotus/liikennepolttoaineiden_verotus)

Autoalan tiedotuskeskus 2020e. Ladattavien autojen käyttäjätutkimus. Viitattu 9.5.2020 [http://www.aut.fi/files/2116/Ladattavien\\_autojen\\_tutkimusraportti\\_liitteineen.pdf](http://www.aut.fi/files/2116/Ladattavien_autojen_tutkimusraportti_liitteineen.pdf)

Eindhoven University of Technology 2011. Benchmarking of Regenerative Braking for a Fully Electric Car. Sivut 4. Viitattu 3.5.2020 <http://www.mate.tue.nl/mate/pdfs/12673.pdf>

Electric and hybrid vehicles: Technologies, modeling and control: a mechatronic approach. E-kirja. Amir Khajepour ym. 2014. Sivut 85. Viitattu 18.5.2020

Electric Vehicle Database 2020. Toyota Prius Plug-in Hybrid. Viitattu 16.6.2020 <https://ev-database.org/car/1211/Toyota-Prius-Plug-in-Hybrid>

Euroopan autonvalmistajien yhdistys ACEA 2016a. From NEDC to WLTP: What will change? Viitattu 23.5.2020 <https://www.wltpfacts.eu/from-nedc-to-wltp-change/>

Euroopan autonvalmistajien yhdistys ACEA 2016b. What is the real driving emissions (RDE) test? Viitattu 13.2.2020 <https://www.caremissionstestingfacts.eu/rde-real-driving-emissions-test/#>

Euroopan autonvalmistajien yhdistys ACEA 2017a. What is WLTP and how does it work? Viitattu 12.2.2020 <https://www.wltpfacts.eu/what-is-wltp-how-will-it-work/>

Euroopan komissio 2019. Asetus 2017/1151. Sivut 483, 763, 806 ja 825. Viitattu 22.4.2020 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02017R1151-20190101&from=EN>

Euroopan komissio 2020a. CO2 emission performance standards for cars and vans (2020 onwards). Viitattu 28.4.2020 [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation_en)

Euroopan komissio 2020b. Reducing CO2 emissions from passenger cars – before 2020. Viitattu 28.4.2020 [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en)

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/631 2020. Viitattu 27.2.2020 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02019R0631-20200121&qid=1587548231113&from=FI>

Euroopan unioni 2014. Development of a European Utility Factor Curve for OVC-HEVs for WLTP. Sivut 1. Viitattu 17.5.2020 [https://circabc.europa.eu/sd/a/92324676-bd8c-4075-8301-6caf12283beb/Technical%20Report\\_UF\\_final.pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/92324676-bd8c-4075-8301-6caf12283beb/Technical%20Report_UF_final.pdf)

Euroopan ympäristökeskus 2018. Comparison of battery electric vehicle and internal combustion engine vehicle production. Sivut 25-26. Viitattu 13.5.2020 <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-life-cycle>

Helsingin Sanomat 2020. Ladattavat hybridit päästävät jopa kolme kertaa enemmän hiilidioksidia kuin autonvalmistajat ilmoittavat. Viitattu 2.3.2020. <https://www.hs.fi/autot/art-2000006405827.html>

ICCT 2017. Too low to be true? How to measure fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions of plug-in hybrid vehicles, today and in the future. Viitattu 28.2.2020 [https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-PHEV\\_ICCT-Briefing-Paper\\_280717\\_vF.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-PHEV_ICCT-Briefing-Paper_280717_vF.pdf)

IVL Svenska Miljöinstitutet 2017. New report highlights climate footprint of electric car battery production. Viitattu 13.5.2020 <https://www.ivl.se/english/startpage/top-menu/pressroom/press-releases/press-releases---arkiv/2017-06-21-new-report-highlights-climate-footprint-of-electric-car-battery-production.html>

Motiva 2019. Ladattava hybridiauto (pistokeyhybridi, lataushybridi). Viitattu 20.5.2020. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/autotyyppi/ladattava\\_hybridiauto](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/autotyyppi/ladattava_hybridiauto)

Motiva 2020. CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. Viitattu 24.5.2020 [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian-kaytto\\_suomessa/co2-laskentaohje\\_energiankulutuksen\\_hiilidioksidipaastojen\\_laskentaan/co2-paastokertoimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian-kaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet)

Tilastokeskus 2019. Tieliikenteen ajokilometreissä edelleen hienoista kasvua. Viitattu 26.5.2020 <https://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2019/tieliikenteen-ajokilometreissa-edelleen-hienoista-kasvua/?listing=simple>

Toyota Auto Finland Oy 2020. Varusteet ja tekniset tiedot. Viitattu 12.4.2020 <https://www.toyota.fi/autot/prius-plugin/varusteet.json#>

Traficom 2019. VTT:n laskelma autoilun kustannuksista. Viitattu 13.5.2020 <https://www.traficom.fi/fi/ajavaihtoehtoa/vtn-laskelma-autoilun-kustannuksista>

Traficom 2020a. WLTP-päästömittaus. Viitattu 9.3.2020 <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/wltp-paastomittaus>

Traficom 2020b. Ajoneuvoveron rakenne ja määrä. Viitattu 8.4.2020 <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/ajoneuvoveron-rakenne-ja-maara>

Traficom 2020c. Ensirekisteröityjen ajoneuvojen päästötilastot. Viitattu 24.5.2020 <https://www.traficom.fi/fi/tilastot/ensirekisteroityjen-ajoneuvojen-paastotilastot?toggle=Ensirekister%C3%B6ityjen%20henkil%C3%B6autojen%20CO2-p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6jen%20kuukausitilastot%20kuluvalta%20vuodelta>

UNECE 2020. CO<sub>2</sub> emission/fuel consumption. Viitattu 29.4.2020 <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2018/R101r3am7e.pdf>

Verband der Automobilindustrie 2020. How are plug-in hybrids and electric cars measured? Viitattu 27.2.2020 <https://www.vda.de/en/topics/environment-and-climate/Global-WLTP-roll-out-for-more-realistic-results-in-fuel-consumption/WLTP-How-are-plug-in-hybrids-and-electric-cars-measured.html>

Verohallinto 2020a. Autoverotus – kun tuot tai ostat ajoneuvon, jota ei ole rekisteröity Suomeen. Viitattu 12.4.2020 <https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/auto/autoverotus/>

Volkswagen Group 2020. Volkswagen Group records higher deliveries 2019. Viitattu 11.6.2020 <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/volkswagen-group-records-higher-deliveries-in-2019-5723>

Wikipedia 2020. History of Plug-in hybrids. Viitattu 11.6.2020 [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_plug-in\\_hybrids](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_plug-in_hybrids)